

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 353

Maatregelen ter vermindering van
fijnstofemissie uit de pluimveehouderij;
deskstudie naar mogelijke toevoegingen aan
de oliefilm

Maart 2010



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het 'Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij' (Ogink en Aarnink, 2008)

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2010

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

In this desk study it was determined which additives are suitable for the oil in the oil film system to reduce ammonia and odour emissions.

Keywords

Additives, ammonia, odour, oil film, emission, poultry

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

A.J.A. Aarnink
J. van Harn

Titel

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; deskstudie naar mogelijke toevoegingen aan de oliefilm
Rapport 353

Samenvatting

In deze deskstudie is bepaald welke additieven geschikt zijn om toe te voegen aan de olie in het oliefilmsysteem voor reductie van ammoniak en geur.

Trefwoorden

Additieven, ammoniak, geur, oliefilm, emissie, pluimvee



Rapport 353

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; deskstudie naar mogelijke toevoegingen aan de oliefilm

A.J.A. Aarnink
J. van Harn

Maart 2010

Voorwoord

Om te kunnen voldoen aan Europese normen voor de maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen. Pluimveestallen dragen in belangrijke mate bij aan de emissie van fijnstof in Nederland. Voor deze stallen zijn echter nog weinig reductietechnieken beschikbaar. Wageningen UR Livestock Research werkt binnen een plan van aanpak aan maatregelen en technieken die de fijnstofemissie uit pluimveestallen substantieel reduceren.

Eén van deze technieken is het aanbrengen van een oliefilm op het strooisel. In eerder onderzoek werd een oliefilmsysteem ontwikkeld voor toepassing in stallen voor vleeskuikens en leghennen in volièrehuisvesting. Op dit moment geeft het oliefilmsysteem alleen een vermindering van de fijnstofemissie. In het kader van integrale oplossingen voor emissies uit stallen is het belangrijk om te kijken of via het toevoegen aan de olie van bepaalde additieven met het oliefilmsysteem tevens de emissies van ammoniak en geur kunnen worden gereduceerd.

In deze deskstudie is onderzocht welke en op welke wijze additieven hiervoor ingezet zouden kunnen worden en wat de verwachte effecten zijn op de emissies van ammoniak en geur. Tevens is gekeken naar mogelijke neveneffecten.

Dr. ir. N.W.M. Ogink

Coördinator programma 'Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij'
Wageningen UR Livestock Research

Samenvatting

Om te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijnstofconcentraties in de buitenlucht is voor de pluimveehouderij een Plan van Aanpak ontwikkeld om de uitstoot van fijn stof terug te dringen. In dit kader is onderzoek uitgevoerd naar vermindering van stofemissie door het aanbrengen van een oliefilm in de stal. De oliefilm wordt daarbij aangebracht door het dagelijks kortstondig vernevelen van een kleine hoeveelheid olie via een drukleiding met vernevelkoppen. Deze techniek is zowel onderzocht in vleeskuikenstallen als in voliërestallen voor leghennen. De ontwikkeling bij vleeskuikens is zodanig perspectiefvol dat begin dit jaar de stap tot validatie-onderzoek in de praktijk kon worden gemaakt. Tot dusver is gebleken dat deze techniek geen effect heeft op de emissie van ammoniak en geur.

Een aantrekkelijke verbetering van de oliefilmtechniek zou kunnen bestaan uit het toevoegen van middelen aan de te vernevelen olie waardoor de emissie van ammoniak en geur eveneens zou kunnen worden teruggedrongen. De investering in een vernevelingsinstallatie wordt daardoor extra benut. De praktijkimplementatie van deze techniek zou daarmee aanzienlijk kunnen worden bevorderd. De doelstelling van dit onderzoek was om middels een deskstudie vast te stellen of de oliefilmtechniek gecombineerd kan worden met additieven waardoor naast de stofemissie ook emissies van ammoniak en eventueel geur worden gereduceerd. Deze deskstudie moest leiden tot een advies voor het al of niet uitvoeren/ondersteunen van vervolgonderzoek.

In de literatuur worden de volgende mogelijke additieven aan strooiselmest beschreven die perspectiefvol zijn voor reductie van de ammoniak- en eventueel geuremissie:

1. Aluminiumsulfaat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$)
2. Aluminiumchloride (AlCl_3)
3. Natriumbisulfaat en natriumsulfaat ('Poultry litter treatment', PLT)
4. IJzersulfaat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
5. Ammoniakabsorberende stoffen (zeolieten en actief kool)

In de deskstudie is gekeken naar de effecten van deze toevoegmiddelen op de ammoniak- en eventueel geuremissies en naar de mogelijke neveneffecten van deze toevoegmiddelen (dierproductie, diergezondheid, milieueffecten etc.). Verder is gekeken naar de manier van aanwenden van het toevoegmiddel al dan niet gecombineerd met verneveling van de olie. Tevens zijn, indien voorhanden, de kosten van het toevoegmiddel doorgerekend.

Op basis van deze deskstudie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Aluminiumsulfaat is een perspectiefvol toevoegmiddel voor strooiselmest om de ammoniakemissie te reduceren. Toevoeging van aluminiumchloride heeft vergelijkbare effecten en is evenzeer perspectiefvol; hier is echter tot nu toe minder onderzoek aan gedaan. De andere additieven die in de literatuur naar voren komen (PLT, ijzersulfaat en ammoniakabsorberende stoffen) hebben minder perspectief.
2. Bij toevoeging van 90 g aluminiumsulfaat per vleeskuiken, aangebracht voor de start van de ronde, werd de ammoniakemissie met 34% gereduceerd. Door dit middel meer verspreid over de groeiperiode aan te brengen zou dit effect misschien vergroot kunnen worden.
3. Toevoeging van aluminiumsulfaat aan het strooisel heeft een positief effect op de groei- en voerconversie. Hierbij moet worden vermeld dat dit effect werd gevonden in de VS waar de strooiselmest, in tegenstelling tot de situatie in Nederland, niet na elke ronde / koppel wordt verwijderd. Daarnaast bindt aluminiumsulfaat het oplosbare fosfaat. Hierdoor wordt de afspoeling en uitspoeling van fosfaat bij aanwending van de strooiselmest belangrijk gereduceerd. Het fosfaat is daardoor echter wel minder beschikbaar voor de plant.
4. De extra toevoeging van aluminiumsulfaat aan de bodem bij het aanwenden van strooiselmest zou op langere termijn problemen kunnen geven met zwavel. Gebruik van aluminiumchloride of een combinatie van aluminiumsulfaat en aluminiumchloride zou een alternatief kunnen zijn om dit probleem op te lossen.
5. Aluminiumsulfaat en aluminiumchloride kunnen niet samen met de olie worden verneveld, aangezien grote hoeveelheden van deze additieven aangewend moeten worden om een significante reductie van de ammoniakemissie te verkrijgen. Daarnaast kunnen deze componenten irritaties geven van de ogen en de huid. Aluminiumsulfaat en aluminiumchloride zouden wel in één werkgang op het strooisel aangebracht kunnen worden met behulp van een mobiel systeem (robot). Hierbij zou bijvoorbeeld eerst aluminiumsulfaat / aluminiumchloride in de bovenlaag van

het strooisel kunnen worden aangebracht voor verlaging van de ammoniakemissie om vervolgens de oliefilm aan te brengen voor reductie van de stofemissie.

6. De kosten van aluminiumsulfaat bedragen circa 2 Eurocent per afgeleverd kuiken. Dit is exclusief de kosten voor het aanbrengen van het toevoegmiddel. De kosten van aluminiumchloride zijn ca. 30% lager.

Op basis van deze deskstudie wordt aanbevolen om het gebruik van aluminiumsulfaat of aluminiumchloride in combinatie met een olie- of waterfilm bij leghennen verder te onderzoeken. Bij gebruik van een waterfilm zou aluminiumsulfaat / aluminiumchloride in opgeloste vorm kunnen worden toegediend. Hierbij moet echter verneveling op de dieren worden voorkomen. Bij gebruik van een oliefilm zou aluminiumsulfaat / aluminiumchloride in dezelfde werkgang met een mobiel systeem kunnen worden aangebracht op het strooisel. Voor vleeskuikens wordt aanbevolen om het effect van aluminiumsulfaat / aluminiumchloride op de ammoniakemissie en op de productie en welzijnskenmerken van de kuikens te onderzoeken. Hierbij kan aluminiumsulfaat / aluminiumchloride, net als in de VS gebeurt, bij de start van elke ronde worden gemengd met het strooisel.

Summary

To fulfill the EU requirements for maximum fine dust concentrations in the ambient air a Plan of Action was developed to reduce fine dust emissions from poultry houses. Within this framework studies have been performed on reduction of fine dust emissions by application of an oil film on top of the litter. The oil film is daily applied by spraying a small amount of oil by pressure tubes with nozzles. This technique has been studied in broiler houses, as well as in aviary housings for layers. The development in broilers was very promising and therefore the system was implemented on practical farms for further validation studies. The different studies showed that the oil film system was not effective in reducing emissions of ammonia and odour.

The oil film technique might become more attractive to be implemented in practice when additives could be added to the oil that reduces the emissions of ammonia and odour. In this way the investment for the spraying installation will become more profitable, thereby improving the implementation of this technique in practice. The objective of this study was to determine in a desk study whether the oil film technique could be combined with additives that reduces ammonia and optionally also odour emissions. This desk study should give an advice on the perspectives to put more effort in follow-up research.

In literature the following possible additives for litter manure are described that could have perspectives to reduce ammonia and possibly odour emissions:

1. Aluminum sulfate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{ H}_2\text{O}$)
2. Aluminum chloride (AlCl_3)
3. Sodium bisulfate and sodium sulfate ('Poultry litter treatment', PLT)
4. Iron sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
5. Ammonia absorbing compounds (zeolites and active coal)

Within this desk study we looked at effects of these additives on ammonia and possibly odour emissions and on possible side effects of these additives (animal production, animal health, environmental effects etc.). Furthermore, it is studied whether these additives could be jointly sprayed with the oil. If information was available, the costs of the additives have been calculated, as well.

Based on this desk study the following was concluded:

1. Aluminum sulfate has perspective as an additive to litter manure to reduce ammonia emissions. Addition of aluminum chloride has comparable effects and has perspectives, as well; on his compound, however, less research has been done. The other additives studied (PLT, iron sulfate and ammonia absorbing compounds) have less perspectives.
2. Addition of 90 g of aluminum sulfate per broiler, at the start of the growing period, reduces the ammonia emission with 34%. By adding this compound at different moments during the growing period, this effect might be increased.
3. Addition of aluminum sulfate to litter manure has a positive effect on growth and feed conversion. It should be commented that this effect was found in the US where the litter manure is not replaced after each growing period, as is done in The Netherlands. Aluminum sulfate binds solvable phosphates and reduces in this way the run off and leaching of phosphates after application of the litter manure. However, this also reduces the availability of phosphates for the crop.
4. Extra addition of aluminum sulfate to the soil with the litter manure could give problems with sulfate in the long run. Use of aluminum chloride or a combination of aluminum sulfate and aluminum chloride could be an alternative to solve this problem.
5. Aluminum sulfate or aluminum chloride can not be applied together with the oil, while large amounts of these compounds are necessary to get a significant reduction of the ammonia emission. Furthermore, aluminum sulfate and aluminum chloride can cause irritations of eyes and skin. Aluminum sulfate and aluminum chloride could be applied in one run together with the oil with a mobile system (robot). The mobile system could first apply the aluminum sulfate / aluminum chloride in the upper layer of the litter for reduction of ammonia emission, followed by the application of the oil film for reduction of dust.
6. The costs of aluminum sulfate amount approximately 2 Eurocent per delivered broiler. The costs for application of the additive are not included in this calculation. The costs for aluminum chloride are approximately 30% lower.

Based on this study it is advised to further study the possibilities to reduce ammonia emissions by using aluminum sulfate or aluminum chloride as an additive to the litter in layer housings. When using

a water film for dust reduction, aluminum sulfate / aluminum chloride could be applied as a solved compound in the water. This should, however, be applied close to the litter to prevent irritations to the broilers. When using an oil film for dust reduction, aluminum sulfate / aluminum chloride could be applied on the litter in the same run of a mobile system. For broilers it is recommended to further study the effects of aluminum sulfate / aluminum chloride on ammonia emission and on welfare parameters. The additive (aluminum sulfate or aluminum chloride) could then be added to the litter at the start of every growing period, as is done in the US.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Mogelijke addities	2
2.1	Aluminiumsulfaat	2
2.2	Aluminiumchloride	2
2.3	IJzersulfaat	3
2.4	Ammoniakabsorberende stoffen (zeolieten en actief kool)	3
3	Neveneffecten	4
3.1	Neveneffecten aluminiumsulfaat	4
3.2	Neveneffecten aluminiumchloride	5
3.3	IJzersulfaat	5
3.4	Ammoniakabsorberende stoffen (zeolieten en actief kool)	5
4	Technische inpassing	6
5	Economische haalbaarheid	7
6	Controle en handhaafbaarheid	8
7	Conclusies	9
8	Aanbevelingen	10
	Referenties	11

1 Inleiding

Om te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijnstofconcentraties in de buitenlucht dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de uitstoot van fijn stof uit belangrijke bronnen terugdringen. In dit kader is door LNV verzocht om het uitwerken van een Plan van Aanpak (Ogink en Aarnink, 2008) voor het ontwikkelen van praktijkrijpe bedrijfsoplossingen voor het terugdringen van de fijnstofemissie uit de pluimveehouderij.

In het Plan van Aanpak zijn verschillende opties voor stofreductie opgenomen, die volgens het rapport van De Buissonjé en Aarnink (2008) het meeste perspectief bieden voor pluimveestallen. Om de potentie van nieuwe ontwikkelingen te benutten is een afzonderlijk deelproject (10) geformuleerd. In de eerste fase van dit deelproject kan de naar voren gebrachte optie worden beschreven in een deskstudie. In deze studie wordt een eerste beoordeling uitgevoerd wat betreft de effectiviteit en de technische en economische haalbaarheid. Het resultaat van dit onderzoek wordt vastgelegd in een rapportage met advies voor mogelijk vervolgonderzoek.

In deelonderzoek 3 van het Plan van Aanpak is onderzoek uitgevoerd naar vermindering van stofemissie door het aanbrengen van een oliefilm in de stal. De oliefilm wordt daarbij aangebracht door het dagelijks kortstondig vernevelen van olie via een drukleiding met vernevelkoppen. Deze techniek is zowel onderzocht in vleeskuikenstallen als in volièrestallen voor leghennen. De ontwikkeling bij vleeskuikens is zodanig perspectiefvol dat begin dit jaar de stap tot validatie-onderzoek in de praktijk kon worden gemaakt. Tot dusver is gebleken dat deze techniek geen effect heeft op de emissie van ammoniak en geur.

Een aantrekkelijke verbetering van de oliefilmtechniek zou kunnen bestaan uit het toevoegen van middelen aan de te vernevelen olie waardoor de emissie van ammoniak en geur eveneens zou kunnen worden teruggedrongen. De investering in een vernevelinginstallatie wordt daardoor extra benut. De praktijkimplementatie van deze techniek zou daarmee aanzienlijk kunnen worden bevorderd.

Uit de onderzoeksliteratuur is bekend dat toevoeging van diverse typen additieven aan mest kan leiden tot het verminderen van ammoniak- en soms geuremissie. Het kan daarbij gaan om middelen die de pH in de mest verlagen waardoor vervluchtiging van ammoniak wordt geremd, middelen die ammoniak en geur direct binden, of middelen die microbiële omzettingen verhinderen waardoor geen ammoniak wordt gevormd. Een gecombineerde toepassing van oliefilm en additieven is nog niet eerder toegepast. Voor het beoordelen van de haalbaarheid van deze combinatie dienen meerdere vragen te worden beantwoord die betrekking hebben op geschikte additieven, wijze van toepassing, effecten op dierprestaties en eventuele neveneffecten op milieu. Er is behoefte aan het beantwoorden van deze vragen in een deskstudie, zodat advies kan worden uitgebracht of vervolgonderzoek aan een dergelijk gecombineerd systeem wenselijk is.

De doelstelling van dit onderzoek was het vaststellen middels een deskstudie van de haalbaarheid van een oliefilmtechniek gecombineerd met het toevoegen van middelen / producten waardoor naast de stofemissie ook emissies van ammoniak en eventueel geur worden gereduceerd. Deze deskstudie moest leiden tot een advies voor het al of niet uitvoeren/ondersteunen van vervolgonderzoek.

In deze deskstudie is op basis van literatuuronderzoek en beschikbare expertise ingegaan op de volgende vragen:

- Welke additieven komen in principe in aanmerking?
- Kunnen deze additieven effectief zijn in een oliefilm?
- Hoe zou de combinatie van oliefilm en additieven technisch kunnen worden uitgevoerd?
- Welke emissiereducties kunnen worden behaald voor ammoniak en eventueel geur?
- Is er een effect te verwachten op lachgas en methaan?
- Wat zijn de neveneffecten van deze additieven op dierenwelzijn, diergezondheid, productie en milieu?
- Kunnen deze additieven tegen aanvaardbare kosten worden toegevoegd?
- Hoe kan deze techniek gecontroleerd / gehandhaafd worden in de praktijk?

2 Mogelijke addities

In de literatuur worden de volgende mogelijke addities aan strooiselmest beschreven die perspectiefvol zijn voor reductie van de ammoniak- en eventueel geuremissie:

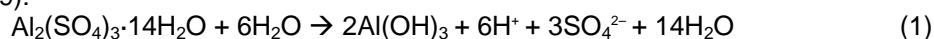
1. Aluminiumsulfaat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$)
2. Aluminiumchloride (AlCl_3)
3. IJzersulfaat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
4. Ammoniakabsorberende stoffen (zeolieten en actief kool)

2.1 Aluminiumsulfaat

In de literatuur wordt dit product ook wel alum genoemd. In het Nederlands kennen we de term aluin. Dit is echter niet de vertaling voor het woord alum. Aluinverbindingen zijn zogenaamde dubbelzouten van sulfaten. Een dubbelzout wil zeggen dat het sulfaat gebonden is aan twee verschillende metalen, bijvoorbeeld kalium en aluminium. Aluminiumsulfaat is een droge stof, maar kan zowel in droge vorm als in vloeistof worden toegediend aan het strooisel. Aluminiumsulfaat geeft een verlaging van de pH van het strooisel, waardoor de ammoniakemissie wordt verlaagd (Moore et al., 1995). Moore et al. (2000) vonden een sterke pH verlaging bij de start van de ronde (pH=5,7), direct nadat aluminiumsulfaat was toegediend, en daarna een geleidelijke stijging totdat de pH stabiliseerde op een niveau van ca. 7,5. In de controleafdeling schommelde de pH gedurende de gehele ronde rond de 8. Celen et al. (2008) vonden een pH verlaging van ca. 0,4 eenheden bij toevoeging van aluminiumsulfaat van 91 g per opgezet vleeskuiken. In een laboratoriumexperiment vonden Choi en Moore (2008a) een reductie van de ammoniakemissie van 77 en 96% bij toevoeging van respectievelijk 4 en 8% droge aluminiumsulfaat in de toplaag van strooiselmest. Bij toevoeging van dezelfde hoeveelheden aluminiumsulfaat (4 en 8%) in oplossing werd de ammoniakemissie gereduceerd met 89 en 94%. In een praktijkstal vonden Moore et al. (2008) een reductie van de ammoniakemissie van 27 en 10% bij toevoeging van respectievelijk 45 g droge en vloeibare alum per opgezet vleeskuiken. Bij toevoeging van 90 g alum per vleeskuiken, aangebracht voor de start van de ronde, was de ammoniakemissie 34% lager.

Bij leghennen in volièrehuisvesting wordt het merendeel van de mest via mestbanden afgevoerd (ca. 80%). Voor leghennen is daarom waarschijnlijk veel minder alum nodig om dezelfde ammoniakreductie uit het strooisel te bewerkstelligen. Door alum meer verspreid over de groei- en legperiode op het strooisel aan te brengen, zou het effect op de ammoniakemissie misschien kunnen worden vergroot.

De pH verlaging van de strooiselmest is te verklaren met de volgende reactievergelijking (Moore et al., 1999):



Naast het directe effect van pH, zou het effect van aluminiumsulfaat op de ammoniakemissie ook voor een deel verklaard kunnen worden door een vermindering van het aantal bacteriën en vermindering van de ureaseproductie van deze bacteriën. Cook et al. (2008) vonden een reductie van het totaal aantal bacteriën met 50% en van de urease producerende bacteriën van 90%. Het gehalte aan schimmels nam echter met ongeveer een factor 10^3 toe door het gebruik van aluminiumsulfaat. Zowel de verlaging van het aantal bacteriën als de toename van de hoeveelheid schimmels wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de pH verlaging van het strooisel.

Aluminiumsulfaat is nu officieel erkend door de 'Environmental Protection Agency (EPA)' in de VS als een middel om de ammoniakemissie te verlagen in vleeskuikenstallen (Nahm, 2005).

2.2 Aluminiumchloride

Aluminiumchloride heeft een vergelijkbare werking als aluminiumsulfaat. Het geeft een pH verlaging van het strooisel volgens een vergelijkbare reactievergelijking als formule 1 van paragraaf 2.1. Toevoeging van 100, 200 en 300 g AlCl_3 in vloeibare vorm per kg strooisel reduceerde de ammoniakemissie met respectievelijk 63, 76 en 76% gedurende een groeiperiode van vleeskuikens

van 6 weken (Choi en Moore, 2008b), terwijl het gehalte aan vluchtige vetzuren werd gereduceerd met respectievelijk 20, 50 en 51% (Choi en Moore, 2008b).

2.3 IJzersulfaat

Onderzoek van Do et al. (2005) liet een reductie zien van de ammoniakemissie op dag 42 van 97% bij gebruik van ijzersulfaat. De uitval bij de vleeskuikens bij gebruik van ijzersulfaat was echter extreem hoog (25%), waardoor dit middel niet geschikt is voor gebruik om de ammoniakemissie uit pluimveestallen te verminderen.

2.4 Ammoniakabsorberende stoffen (zeolieten en actief kool)

Zeolieten zijn poreuze vulkanische minerale gesteenten. Effecten worden veroorzaakt door een combinatie van absorptie en uitwisseling van mineralen (Nahm, 2005). Een laag mest met 38% zeolieten, aangebracht bovenop de mest, gaf een ammoniakreductie van 44% (Kithomie et al., 1999). Volgens Nakaue et al. (1981) is het toevoegen van 5 kg/m² zeolieten of vers zaagsel op dag 28 van de groeiperiode een goede methode om de ammoniakemissie te reduceren.

Door het Pluimveeonderzoekcentrum Spelderholt zijn in het verleden verschillende absorberende stoffen onderzocht ten aanzien van het effect op de ammoniakemissie. Deze stoffen werden gemengd met het strooisel. Resultaten van deze proeven lieten zien dat voor een substantiële verlaging van de ammoniakemissie grote hoeveelheden van deze stoffen nodig waren, waardoor deze maatregelen niet kosteneffectief zijn (Ellen et al., 2005).

3 Neveneffecten

3.1 Neveneffecten aluminiumsulfaat

Moore et al. (1999) vonden een significante verbetering van de groei van vleeskuikens bij het gebruik van aluminiumsulfaat in strooisel. Ook werd de voerconversie verbeterd en was de uitval lager. Volgens deze auteurs is dit waarschijnlijk veroorzaakt door de lagere ammoniakconcentraties in de lucht en/of door de verandering van de microbiële samenstelling van het strooisel. Beide effecten worden veroorzaakt door de lagere pH van het strooisel. Ook Celen en Alkis (2009) vonden een positief effect van aluminiumsulfaat op de groei van vleeskuiken bij gebruik op zaagsel en stro, echter er was een tendens tot een verslechtering van de voerconversie. De hoeveelheid toegevoegd aluminiumsulfaat was 91 g/vleeskuiken. De hoeveelheid strooisel was 8 – 10 cm. Do et al. (2005) vonden geen effect van aluminiumsulfaattoevoeging ($1,15 \text{ kg/m}^2$; 161 g/vleeskuiken) aan 10 cm rijstzemelen op de voeropname, groei, voerconversie en uitval. Bedacht moet worden dat in de VS, in tegenstelling tot Nederland, het strooisel in het algemeen niet wordt vervangen tussen de ronden. Dit geeft zonder toevoeging van aluminiumsulfaat vanaf het begin van de mestperiode al een relatief hoge ammoniakemissie. In Nederland is bij vers strooisel de ammoniakemissie in het begin van de groeiperiode heel gering. Om die reden zal in Nederland het effect op de productie daarom waarschijnlijk geringer zijn dan in de VS.

Bij gebruik in mengmest kan aluminiumsulfaat extra geuremissie veroorzaken door omzetting van sulfaat naar waterstofsulfide (H_2S) onder anaerobe omstandigheden.

Aluminiumsulfaat reduceert het gehalte aan oplosbaar fosfor in de strooiselmest (Do et al., 2005; Miles et al., 2003; Smith et al., 2004b). Moore en Edwards (2007) vonden gedurende een langjarig onderzoek een significante verlaging van de afspoeling en de uitspoeling van fosfor uit met aluminiumsulfaat behandelde strooiselmest. Smith et al. (2004b) vonden een verlaging van de afspoeling van fosfor met 52 tot 69% door toevoeging van 10% aluminiumsulfaat aan de strooiselmest (100 g/kg). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de vorming van aluminiumfosfaat (AlPO_4) of een binding van fosfaat aan aluminiumhydroxyde (Moore et al., 1999). Het voorgaande betekent echter ook dat de beschikbaarheid van fosfor voor de plant zal verminderen. Hunger et al. (2008) vonden dat er meer struviet (magnesium-ammonium-fosfaat) werd gevormd bij toevoeging van aluminiumsulfaat. Laboratoriumstudies hebben aangetoond dat aluminiumfosfaatmineralen erg stabiel zijn in een zure omgeving (Moore et al., 1999). De opbrengst aan zwenkgras was significant hoger wanneer deze was bemest met strooiselmest van vleeskuikens waaraan aluminiumsulfaat was toegevoegd dan bij bemesting met gewone vleeskuikenstrooiselmest (Shreve et al., 1995). Toevoeging van aluminiumsulfaat aan strooiselmest geeft ook een lagere afspoeling van de metalen arsenicum, koper en zink (Moore et al., 1998).

Aluminiumsulfaat is een bijtend product, het irriteert de slijmvliezen, ogen en huid. Dit betekent dat er bij het aanwenden de nodige voorzichtigheid moet worden betracht. Het dragen van beschermende kleding wordt daarom aanbevolen. Daarnaast zou mogelijk door het gebruik van aluminiumsulfaat de inventaris van de stal aangetast kunnen worden (met name corrosief gevoelige materialen, maar ook de betonvloer).

Line (2002) vond dat het aanbrengen van aluminiumsulfaat aan strooisel ($0,8$ en $1,6 \text{ kg/m}^2$) een significante reductie gaf van het aantal *Campylobacter* positieve dieren bij dikke darm monsters van vleeskuikens. Deze auteur vond respectievelijk 90, 25 en 10% positieve dieren bij de controle groep, de groep met $0,8 \text{ kg aluminiumsulfaat/m}^2$ en de groep met $1,6 \text{ kg aluminiumsulfaat/m}^2$. Tevens waren alle karkaswaswater monsters negatief ten aanzien van *Campylobacter* bij de hoge aluminiumsulfaat dosering, terwijl deze in de controleafdelingen voor 38-95% positief waren. *Salmonella* besmetting werd niet beïnvloed door het aanbrengen van aluminiumsulfaat op het strooisel.

Verder onderzoek zal moeten aantonen wat het effect is van langdurig gebruik van relatief grote hoeveelheden aluminiumsulfaat voor bemesting van de grond. Op zure gronden (40% van de landbouwgronden in de wereld) kunnen hoge aluminiumconcentraties de plantengroei vertragen doordat de wortels minder snel groeien (Jones et al., 2008).

Bij een toevoeging van alum van 91 g per opgezet vleeskuiken is de hoeveelheid aluminium in strooiselmest per vleeskuiken 8,3 g en de hoeveelheid zwavel 14,7 g. Bij een strooiselmestproductie van 1,45 kg per vleeskuiken geeft dit aluminium- en zwavelconcentraties van 5,7 en 10,1 g per kg strooiselmest. De berekende aluminium/stikstof en aluminium/fosfor verhoudingen zijn respectievelijk 0,17 en 0,84. De berekende zwavel/stikstof en zwavel/fosfor verhoudingen zijn respectievelijk 0,30 en 1,49. Bij toediening van 170 kg N per ha (maximum volgens EU-regelgeving) wordt er dan 29 kg aluminium en 51 kg zwavel (extra) toegediend.

Volgens Oenema (Wageningen UR, Persoonlijke mededeling, 2010) geeft aluminium in de bodem niet direct problemen. Problemen treden namelijk pas op bij een pH < 4. Bij een hogere pH is de aluminium niet beschikbaar voor opname door planten. Met zwavel zijn eerder problemen te verwachten. Maar er is op dit moment in de EU eerder een tekort aan zwavel dan een overmaat (door sanering van de SO₂ depositie). Hierboven is aangegeven dat bij toediening van 170 kg N per ha via strooiselmest met toegevoegd aluminiumsulfaat ca 51 kg zwavel (extra) wordt toegediend. Dat is meer dan een gewas nodig heeft. Op korte termijn zijn geen problemen te verwachten, maar op langere termijn is dat waarschijnlijk te veel, ook al omdat via andere bronnen ook zwavel wordt toegediend. Om problemen met zwavel te voorkomen zou ook aluminiumchloride kunnen worden toegevoegd, of een combinatie van aluminiumsulfaat en aluminiumchloride. Door toevoeging van aluminiumsulfaat of aluminiumchloride zou de beschikbaarheid van fosfaat in de mest voor de planten een probleem kunnen gaan vormen.

3.2 Neveneffecten aluminiumchloride

Toevoeging van 100 en 200 g aluminiumchloride per kg strooisel tendeerde naar een betere groei en voeropname van vleeskuikens, maar had geen effect op de voerconversie en uitval; toevoeging van 300 g aluminiumchloride per kg strooisel had een negatief effect op de voeropname (Choi en Moore, 2008b). Voor aluminiumchloride werden vergelijkbare effecten gevonden als bij gebruik van aluminiumsulfaat ten aanzien van de reductie van fosfaatafspoeling na aanwending op het land van varkensmest (Smith et al., 2001; Smith et al., 2004a). Het is aannemelijk dat dit effect ook bij gebruik in strooiselmest zal worden gevonden.

3.3 IJzersulfaat

Zoals in hoofdstuk 2 al aangegeven was de uitval bij vleeskuikens bij gebruik van ijzersulfaat extreem hoog (25%), waardoor dit middel niet toegepast kan worden voor ammoniakreductie.

3.4 Ammoniakabsorberende stoffen (zeolieten en actief kool)

Er zijn geen neveneffecten bekend van het toevoegen van zeolieten of actief kool aan strooiselmest. Zeolieten die aan het voer werden toegevoegd gaven een lagere geuremissie en minder diaree bij varkens (Baidoo, 2000).

4 Technische inpassing

In Amerikaans onderzoek werd aluminiumsulfaat tussen de vleeskuikenronden veelal als droog product toegevoegd aan het strooisel van de vorige ronde(n). Dit werd gedaan met behulp van een zogenaamde strooiselmenger. De dosering van aluminiumsulfaat is ca. 10% van het totale eindgewicht van het strooisel, ofwel ca. 91 g per vleeskuiken. In de VS wordt het strooisel in het algemeen pas na een aantal ronden vervangen, bijvoorbeeld jaarlijks. Bij deze methode nemen de pH en de ammoniakemissie, relatief ten opzichte van de controle, geleidelijk toe, met in het begin een hoge reductie en aan het eind een relatief lage reductie van de ammoniakemissie.

Bij een oliedosering van 12 ml/m², 20 vleeskuikens per m² en een vernevelperiode van 3 weken, wordt er in totaal 12,6 ml olie per vleeskuiken verneveld. Dit komt overeen met ca. 12 g olie. Dit is beduidend geringer dan de dosering van 91 g aluminiumsulfaat per vleeskuiken, die nodig is om de gerapporteerde effecten te bereiken. Naast het feit dat aluminiumsulfaat slecht oplosbaar is in olie, kan deze hoeveelheid aluminiumsulfaat onmogelijk met de olie worden verneveld. Aluminiumsulfaat zal daarom apart van de olie toegediend moeten worden aan het strooisel. Hetzelfde geldt voor de andere verzurende stoffen: aluminiumchloride en ijzersulfaat. Ook de ammoniakabsorberende stoffen (zeolieten en actief kool) moeten in grote hoeveelheden aan het strooisel worden toegevoegd, daarom is toevoeging van deze stoffen aan de olie geen optie.

Toevoegmiddelen aan strooisel zouden wel in één werkgang separaat van de olie aangebracht kunnen worden met behulp van een mobiel systeem (robot). Deze zelfrijdende machine zou in één werkgang het toevoegmiddel door de bovenlaag van het strooisel kunnen mengen om vervolgens de oliefilm aan te brengen.

Aluminiumsulfaat irriteert als het op ogen of huid komt door de zure werking van sulfaat. Als aluminiumsulfaat op de huid komt wordt de huid rood. Als het op de ogen komt worden de ogen rood en doet het pijn. Bij het inslikken van aluminiumsulfaat kan dit buikpijn, diarree en braken veroorzaken. Voorgaande pleit er ook niet voor om aluminiumsulfaat in de lucht te vernevelen. Applicatie direct boven het strooisel, bijvoorbeeld met een mobiele spuitboom of robot, behoort wel tot de mogelijkheden. Tijdens handmatig of machinaal aanbrengen van aluminiumsulfaat is het belangrijk om handschoenen, een veiligheidsbril en een stofmasker te dragen. Na het aanbrengen moet gecontroleerd worden of alle aluminiumsulfaat goed is gemengd met het strooisel. Voorkomen moet worden dat brokken aluminiumsulfaat bovenop het strooisel liggen. Dit kan namelijk aanleiding zijn voor de dieren om het te gaan eten.

Aluminiumsulfaat zou ook in een waterige oplossing aangebracht kunnen worden. Toepassing van een waterfilm voor stofreductie is geen oplossing bij vleeskuikens, maar zou wel toegepast kunnen worden bij leghennen (Ellen en Van Harn, 2009). In 1 liter water kan 363 g aluminiumsulfaat worden opgelost bij 20°C. Bij het aanbrengen van 100 ml water per m² per dag, zou 36,3 g aluminiumsulfaat per dag per m² aangebracht kunnen worden. Bij vleeskuikens werd per m² ca. 1,8 kg aluminiumsulfaat aangebracht. Om deze totale hoeveelheid via waterverneveling aan te brengen is 50 dagen nodig. Waarschijnlijk is deze hoeveelheid in deze tijdspanne niet nodig, aangezien bij leghennen de meeste mest wordt afgevoerd via de mestbanden. Verdere berekeningen en onderzoek is nodig om de juiste hoeveelheid toevoeging af te stemmen op de hoeveelheid mest die in het strooisel terecht komt om voldoende ammoniakreductie te krijgen.

5 Economische haalbaarheid

Op basis van voorgaande hoofdstukken zijn twee additieven perspectiefvol om toe te voegen aan het strooisel: aluminiumsulfaat en aluminiumchloride. Beiden kunnen echter niet verneveld worden samen met de olie. Kosten zijn dan ook volledig additioneel bovenop de kosten van het olievernaveelsysteem. Het voorgaande geldt niet als het additief met een mobiel systeem (robot) in één werkgang kan worden aangebracht.

Als gevolg van betere productieresultaten en een lager energiegebruik berekenden Moore et al. (1999) een baten/kosten verhouding van 1,96 bij gebruik van aluminiumsulfaat. De kosten van aluminiumsulfaat zijn in de VS volgens Moore et al. (1999) 200 – 225 USD per ton. Uitgaande van een kostprijs in Europa van € 200,- per ton, zijn de kosten bij toevoeging aan het strooisel van 91 g aluminiumsulfaat per vleeskuiken gelijk aan 1,8 Eurocent per vleeskuiken. Dit is exclusief de kosten van het aanbrengen van aluminiumsulfaat. De kosten van aluminium in alum bedragen ca. € 2,20 per kg.

De kosten van aluminiumchloride zijn ca. € 300,- per ton. Bij toevoeging van 0,7 kg AlCl_3/m^2 staloppervlak, d.i. 0,035 kg per kuiken betekent dit ($0,035 \text{ kg} \times € 0,30/\text{kg}$) 1,1 Eurocent. Toepassing van aluminiumchloride is daarom bijna 40% goedkoper dan toepassing van alum.

Bovenstaande getallen zijn gebaseerd op prijzen in de VS. De prijzen kunnen in Europa enigszins anders liggen.

6 Controle en handhaafbaarheid

Gebruik van toevoegmiddelen aan strooisel op een pluimveebedrijf kan als volgt worden gecontroleerd en gehandhaafd:

- Controle van de afname van het toevoegmiddel via aankoopbonnen;
- Bij vernevelen wordt het dagelijks gebruik van toevoegmiddel automatisch gewogen en gelogd.
- Periodiek, bijvoorbeeld eens per jaar worden strooiselmonsters genomen om de concentratie van het toevoegmiddel in het strooisel te analyseren.

7 Conclusies

Op basis van deze deskstudie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Aluminiumsulfaat is een perspectiefvol toevoegmiddel voor strooiselmest om de ammoniakemissie te reduceren. Toevoeging van aluminiumchloride heeft vergelijkbare effecten en is evenzeer perspectiefvol; hier is echter tot nu toe minder onderzoek aan gedaan. De andere additieven die in de literatuur naar voren komen (PLT, ijzersulfaat en ammoniakabsorberende stoffen) hebben minder perspectief.
2. Bij toevoeging van 90 g aluminiumsulfaat per vleeskuiken, aangebracht voor de start van de ronde, werd de ammoniakemissie met 34% gereduceerd. Door dit middel meer verspreid over de groeiperiode aan te brengen zou dit effect misschien vergroot kunnen worden.
3. Toevoeging van aluminiumsulfaat aan het strooisel heeft een positief effect op de groei- en voerconversie. Hierbij moet worden vermeld dat dit effect werd gevonden in de VS waar de strooiselmest, in tegenstelling tot de situatie in Nederland, niet na elke ronde / koppel wordt verwijderd. Daarnaast bindt aluminiumsulfaat het oplosbare fosfaat. Hierdoor wordt de afspoeling en uitspoeling van fosfaat bij aanwending van de strooiselmest belangrijk gereduceerd. Het fosfaat is daardoor echter wel minder beschikbaar voor de plant.
4. De extra toevoeging van aluminiumsulfaat aan de bodem bij het aanwenden van strooiselmest zou op langere termijn problemen kunnen geven met zwavel. Gebruik van aluminiumchloride of een combinatie van aluminiumsulfaat en aluminiumchloride zou een alternatief kunnen zijn om dit probleem op te lossen.
5. Aluminiumsulfaat en aluminiumchloride kunnen niet samen met de olie worden verneveld, aangezien grote hoeveelheden van deze additieven aangewend moeten worden om een significante reductie van de ammoniakemissie te verkrijgen. Daarnaast kunnen deze componenten irritaties geven van de ogen en de huid. Aluminiumsulfaat en aluminiumchloride zouden wel in één werkgang op het strooisel aangebracht kunnen worden met behulp van een mobiel systeem (robot). Hierbij zou bijvoorbeeld eerst aluminiumsulfaat / aluminiumchloride in de bovenlaag van het strooisel kunnen worden aangebracht voor verlaging van de ammoniakemissie om vervolgens de oliefilm aan te brengen voor reductie van de stofemissie.
6. De kosten van aluminiumsulfaat bedragen circa 2 Eurocent per afgeleverd kuiken. Dit is exclusief de kosten voor het aanbrengen van het toevoegmiddel. De kosten van aluminiumchloride zijn ca. 30% lager.

8 Aanbevelingen

Op basis van deze deskstudie wordt aanbevolen om het gebruik van aluminiumsulfaat of aluminiumchloride in combinatie met een olie- of waterfilm bij leghennen verder te onderzoeken. Bij gebruik van een waterfilm zou aluminiumsulfaat / aluminiumchloride in opgeloste vorm kunnen worden toegediend. Hierbij moet echter verneveling op de dieren worden voorkomen. Bij gebruik van een oliefilm zou aluminiumsulfaat / aluminiumchloride in dezelfde werkgang met een mobiel systeem kunnen worden aangebracht op het strooisel. Voor vleeskuikens wordt aanbevolen om het effect van aluminiumsulfaat / aluminiumchloride op de ammoniakemissie en op de productie en welzijnskenmerken van de kuikens te onderzoeken. Hierbij kan aluminiumsulfaat / aluminiumchloride, net als in de VS gebeurt, bij de start van elke ronde worden gemengd met het strooisel.

Referenties

- Baidoo, S. K. 2000. Environmental impacts of swine, poultry nutrition discussed. *Feedstuffs* June 26: 12-15.
- Celen, M. F., en E. Alkis. 2009. The effects of alum application to different bedding materials on litter characteristics. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8: 899-902.
- Celen, M. F., S. Kozat, S. Ekin, B. H. Yoruk, en E. Alki. 2008. Effects of adding aluminum sulfate to different litters on selected trace elements and vitamins concentrations in broiler. *African Journal of Biotechnology* 7: 3363-3366.
- Choi, I. H., en P. A. Moore. 2008a. Effect of various litter amendments on ammonia volatilization and nitrogen content of poultry litter. *Journal of Applied Poultry Research* 17: 454-462.
- Choi, I. H., en P. A. Moore. 2008b. Effects of liquid aluminum chloride additions to poultry litter on broiler performance, ammonia emissions, soluble phosphorus, total volatile fatty acids, and nitrogen contents of litter. *Poultry Science* 87: 1955-1963.
- Cook, K. L., M. J. Rothrock, J. G. Warren, K. R. Sistani, en P. A. Moore. 2008. Effect of alum treatment on the concentration of total and ureolytic microorganisms in poultry litter. *Journal of Environmental Quality* 37: 2360-2367.
- De Buissonjé, F., en A. J. A. Aarnink. 2008. Opties voor reductie van stofemissies in pluimveestallen. Quick scan van de pluimveesectoren en -bedrijven met de hoogste fijn stofemissies. Rapport 128, Animal Sciences Group, Lelystad.
- Do, J. C., I. H. Choi, en K. H. Nahm. 2005. Effects of chemically amended litter on broiler performances, atmospheric ammonia concentration, and phosphorus solubility in litter. *Poultry Science* 84: 679-686.
- Ellen, H. H., J. v. Harn, en T. Veldkamp. 2005. Inventarisatie mogelijkheden reductie ammoniakemissie uit vleeskuikenstallen. *PraktijkRapport Pluimvee* 16, Praktijkonderzoek Pluimveehouderij, Beekbergen, 23 pp.
- Ellen, H. H., en J. Van Harn. 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; studie naar mogelijkheden van aanbrengen waterfilm op strooisel, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Hunger, S., J. T. Sims, en D. L. Sparks. 2008. Evidence for struvite in poultry litter: Effect of storage and drying. *Journal of Environmental Quality* 37: 1617-1625.
- Jones, D. L., E. Blancaflor, L. V. Kochian, en S. Gilroy. 2008. Spatial coordination of aluminum uptake, production of reactive oxygen species, callose production and wall rigidification in maize roots. *Plant Cell and Environment*. 29: 1309-1318.
- Kithomie, M., W. J. Paul, en A. A. Bomke. 1999. Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments. *J. Environ. Qual.* 28: 194-201.
- Line, J. E. 2002. *Campylobacter* and *salmonella* populations associated with chickens raised on acidified litter. *Poultry Science* 81: 1473-1477.
- Miles, D. M. et al. 2003. Total and water-soluble phosphorus in broiler litter over three flocks with alum litter treatment and dietary inclusion of high available phosphorus corn and phytase supplementation. *Poultry Science* 82: 1544-1549.
- Moore, P. A., T. C. Daniel, en D. R. Edwards. 1999. Reducing phosphorus runoff and improving poultry production with alum. *Poultry Science* 78: 692-698.
- Moore, P. A., T. C. Daniel, en D. R. Edwards. 2000. Reducing phosphorus runoff and inhibiting ammonia loss from poultry manure with aluminum sulfate. *Journal of Environmental Quality* 29: 37-49.
- Moore, P. A., T. C. Daniel, D. R. Edwards, en D. M. Miller. 1995. Effect of chemical amendments on ammonia volatilization from poultry litter. *Journal of Environmental Quality* 24: 293-300.
- Moore, P. A. et al. 1998. Decreasing metal runoff from poultry litter with aluminum sulfate. *Journal of Environmental Quality* 27: 92-99.
- Moore, P. A., en D. R. Edwards. 2007. Long-term effects of poultry litter, alum-treated litter, and ammonium nitrate on phosphorus availability in soils. *Journal of Environmental Quality* 36: 163-174.
- Moore, P. A., D. M. Miles, R. T. Burns, D. H. Pote, en W. K. Berg. 2008. Evaluation of ammonia emissions from broiler litter. In: *International Livestock Environment Symposium - ILES VIII*, Iguassu Falls City, Brazil
- Nahm, K. H. 2005. Environmental effects of chemical additives used in poultry litter and swine manure. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 35: 487-513.

- Ogink, N. W. M., en A. J. A. Aarnink. 2008. Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijn stofreductie in de pluimveehouderij. Rapport 113, Animal Sciences Group, Divisie Veehouderij, Lelystad.
- Shreve, B. R., P. A. Moore, T. C. Daniel, en D. R. Edwards. 1995. Reduction of phosphorus in runoff from fieldapplied poultry litter using chemical amendments. *Journal of Environmental Quality* 24: 106-111.
- Smith, D. R. et al. 2001. Effects of alum and aluminum chloride on phosphorus runoff from swine manure. *Journal of Environmental Quality* 30: 992-998.
- Smith, D. R., P. A. Moore, C. V. Maxwell, B. E. Haggard, en T. C. Daniel. 2004a. Reducing phosphorus runoff from swine manure with dietary phytase and aluminum chloride. *Journal of Environmental Quality* 33: 1048-1054.
- Smith, D. R., P. A. Moore, D. M. Miles, B. E. Haggard, en T. C. Daniel. 2004b. Decreasing phosphorus runoff losses from land-applied poultry litter with dietary modifications and alum addition. *Journal of Environmental Quality* 33: 2210-2216.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl